(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Oktober 2003 (09.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/083278 A1

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: F02D 41/20, H01L 41/04, F02M 57/02, 59/36

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00956

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. März 2003 (21.03.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 14 206.8 28. März 2002 (28.03.2002) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **MAROHN, Ralf** [DE/DE]; Göttingerstr. 29, 38106 Braunschweig (DE). **PIRKL, Richard** [DE/DE]; Erhardigasse 13, 93047 Regensburg (DE). **SCHROD, Walter** [DE/DE]; Nittenauer Str. 8, 93057 Regensburg (DE). **VOIGT, Peter** [DE/DE]; Weisse-Lilien-Str. 5, 93047 Regensburg (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: JP, US.

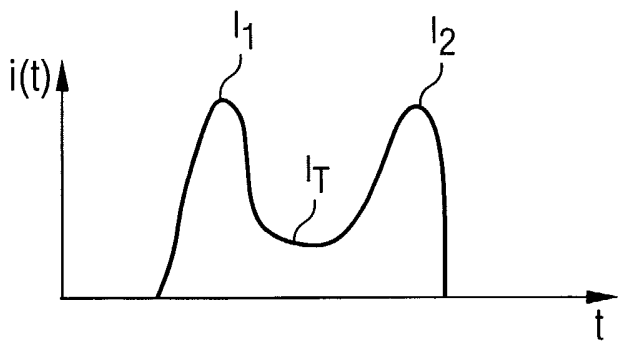
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:
— *mit internationalem Recherchenbericht*
— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) **Title:** METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING THE PIEZO-ACTUATOR OF A PIEZO-CONTROL VALVE OF A PUMP NOZZLE UNIT

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ANSTEUERUNG DES PIEZO-AKTUATORS EINES PIEZO-STEUERVENTILS EINER PUMPE-DÜSE-EINHEIT



(57) **Abstract:** In order to close the piezo-control valve (22) of a pump-nozzle unit, the piezo-actuator (76) is controlled by means of at least one first current pulse (I_1) and a second current pulse (I_2) occurring at a specific time duration therefrom instead of a single pulse current packet. A bounce pulse occurring when the valve needle (48) impacts upon the valve seat (62) is thus avoided or at least prevented. Optionally, a partial current level (I_T) is maintained between the first current pulse (I_1) and the second current pulse (I_2).

(57) **Zusammenfassung:** Zum Schließen des Piezo-Steuerventils (22) einer Pumpe-Düse-Einheit wird der Piezo-Aktuator (76) anstelle eines Ein-Puls-Strompaketes mit zumindest einem ersten Stromimpuls (I_1) und einem diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls (I_2) angesteuert. Dadurch kann ein Preller beim Auftreffen der Ventilnadel (48) auf den Ventilsitz (62) vermieden oder zumindest verringert werden. Gegebenenfalls wird zwischen dem ersten Stromimpuls (I_1) und dem zweiten Stromimpuls (I_2) ein Teilstromniveau (I_T) aufrechterhalten.

WO 03/083278 A1

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators eines Piezo-Steuerventils einer Pumpe-Düse-Einheit

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators beim Schließvorgangs eines Piezo-Steuerventils einer Pumpe-Düse-Einheit.

Pumpe-Düse-Einheiten dienen zum Zuführen von Kraftstoff in einen Verbrennungsraum einer Brennkraftmaschine. Dabei kann es sich beispielsweise um eine Pumpe-Düse-Einheit mit einer Steuer- und/oder regelbaren Kraftstoffpumpe, einer Kraftstoffeinspritzdüse, die eine zwischen einer Schließstellung und einer Öffnungsstellung hin und her bewegliche Düsennadel aufweist, einem ersten Druckraum, der von der Kraftstoffpumpe mit unter einem ersten Druck stehenden Kraftstoff befüllbar ist, einem zweiten Druckraum, wobei in dem zweiten Druckraum unter einem zweiten Druck stehender Kraftstoff eine Schließkraft auf die Düsennadel ausübt, und einen dritten Druckraum, der mit dem ersten Druckraum kommuniziert, wobei in dem dritten Druckraum unter einem dritten Druck stehender Kraftstoff eine Öffnungskraft auf die Düsennadel ausübt, handeln.

Pumpe-Düse-Einheiten werden insbesondere im Zusammenhang mit druckgesteuerten Einspritzsystemen verwendet. Ein wesentliches Merkmal eines druckgesteuerten Einspritzsystems besteht darin, dass die Kraftstoffeinspritzdüse öffnet, sobald eine zumindest vom aktuell herrschenden Drücken beeinflusste Öffnungskraft auf die Düsennadel ausgeübt wird. Derartige druckgesteuerte Einspritzsysteme dienen der Kraftstoffdosierung, der Kraftstoffaufbereitung, der Formung des Einspritzverlaufs und einer Abdichtung der Kraftstoffzuführung gegen den Verbrennungsraum der Brennkraftmaschine. Mit druckgesteuerten Einspritzsystemen lässt sich der zeitliche Verlauf des Mengenstroms während der Einspritzung in vorteilhafter Weise steuern. Damit kann ein positiver Einfluss auf die Leistung,

den Kraftstoffverbrauch und die Schadstoffemission des Motors genommen werden.

Bei Pumpe-Düse-Einheiten sind die Kraftstoffpumpe und die Kraftstoffeinspritzdüse in der Regel als integriertes Bauteil ausgebildet. Für jeden Verbrennungsraum der Brennkraftmaschine wird zumindest eine Pumpe-Düse-Einheit vorgesehen, die in der Regel in den Zylinderkopf eingebaut wird. Die Kraftstoffpumpe umfasst dabei typischerweise einen in einem Kraftstoffpumpenzylinder hin und her beweglichen Kraftstoffpumpenkolben, der entweder direkt über einen Stößel oder indirekt über Kipphebel von einer Nockenwelle der Brennkraftmaschine angetrieben wird. Der üblicherweise den ersten Druckraum bildende Abschnitt des Kraftstoffpumpenzylinders ist über ein Steuerventil mit einem Kraftstoff-Niederdruckbereich verbindbar, wobei bei geöffnetem Steuerventil Kraftstoff von dem Kraftstoff-Niederdruckbereich in den ersten Druckraum angesaugt und bei weiterhin geöffnetem Steuerventil von dem ersten Druckraum in den Kraftstoff-Niederdruckbereich zurückgedrückt wird. Sobald das Steuerventil geschlossen wird, erfolgt durch den Kraftstoffpumpenkolben eine Komprimierung des in dem ersten Druckraum befindlichen Kraftstoffs und somit ein Druckaufbau. Es ist bekannt, das Steuerventil in Form eines Magnetventils vorzusehen. Magnetventile weisen jedoch üblicherweise eine relativ lange Ansprechzeit auf, was insbesondere dadurch bedingt ist, dass der Magnetanker eines Magnetventils aufgrund der von seiner Masse abhängigen Massenträgheitskräfte nicht beliebig schnell beschleunigt werden kann. Weiterhin erfordert auch der Aufbau des Magnetfeldes zur Erzeugung der Anzugskraft Zeit. Eine mit einem Magnetventil ausgestattete Pumpe-Düse-Einheit ist beispielsweise aus der EP 0 277 939 B1 bekannt.

Um die durch die Verwendung von Magnetventilen hervorgerufenen Probleme zu vermeiden, ist es weiterhin bereits bekannt, Pumpe-Düse-Einheiten mit einem Steuerventil auszustatten, das

piezoelektrisch betrieben wird. Eine derartige Pumpe-Düse-Einheit ist beispielsweise aus der DE 198 35 494 A1 bekannt.

Um bei einem Einspritzvorgang neben einer Haupteinspritzmenge eine zusätzliche Voreinspritzmenge und/oder eine zusätzliche Nacheinspritzmenge in den Verbrennungsraum einzubringen, ist es weiterhin bekannt, während eines Einspritzzyklus mehrere in kurzen Zeitabständen aufeinanderfolgende Einspritzimpulse auszulösen.

Es ist bekannt, den Piezo-Aktuator beim Schließvorgang des Piezo-Steuerventils mit einem Einpulsstrompaket anzusteuern. Das Einpulsstrompaket kann dabei durch eine Sinushalbwelle oder mehrere unmittelbar aufeinander folgende gepulste Strompakete gebildet sein. Diese bekannte Ansteuerung des Piezoaktuators kann beim Schließvorgang des Piezo-Steuerventils, sobald die Ventilnadel den Ventilssitz erreicht, zu einem sogenannten Preller führen. Ein derartiger Preller kann zu einem oder mehreren der folgenden Funktionsprobleme führen:

- Risiko des Wiederöffnens des Piezo-Steuerventils (Funktionsstörung mit möglichem Ausfall der Einspritzung);

- Druckschwingungen im Verlauf des Elementraumdrucks, beispielsweise mit einem negativen Einfluss auf das Mengenkennfeld einer Voreinspritzung;

- Abreißen der Flüssigkeitssäule und somit Auftreten einer ausgeprägten Kavitation, wobei es bei der Re-Kompression der Kavitation ebenfalls zu einem ungewollten Öffnen des Piezo-Steuerventils kommen kann.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die gattungsgemäßen Verfahren und Vorrichtungen derart weiterzubilden, dass ungewollte Preller beim Schließen eines Piezo-Steuerventils vermieden oder zumindest verringert werden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Das erfindungsgemäße Verfahren baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass die Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls umfasst. Dabei wird die Ventilnadel des Piezo-Steuerventils mit dem ersten Stromimpuls in Bewegung gesetzt. Der dem ersten Stromimpuls mit einem zeitlichen Abstand nachfolgende zweite Stromimpuls, der vorzugsweise bis zum Anschlagen der Ventilnadel am Ventilsitz andauert, dient dazu, einen schnellen Dichtkraftaufbau zu gewährleisten. Durch die erfindungsgemäße Ansteuerung wird ein Prellen der Ventilnadel nach dem Erreichen des Ventilsitzes vermieden oder zumindest verringert, wodurch sich geringere Druckschwingungen im Elementraum sowie eine geringere Kavitation im Absteuer- und Aktorraum ergeben. Unter dem Begriff Ansteuerung ist im vorliegenden Zusammenhang insbesondere die Aufladung des Piezo-Aktuators zu verstehen. Eine derartige Aufladung wird erfindungsgemäß in zumindest zwei Ladungspakete unterteilt, wobei unterschiedliche Ladungsinhalte möglich sind.

Bei einigen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens kann weiterhin vorgesehen sein, dass zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau aufrechterhalten wird. Die Höhe des Teilstromniveaus kann dabei für unterschiedliche Betriebszustände variieren. Weiterhin kann sie, ebenso wie der Verlauf des ersten Stromimpulses und/oder des zweiten Stromimpulses, zur Anpassung der Ansteuerung an unterschiedliche Piezo-Steuerventiltypen herangezogen werden.

Besonders gute Ergebnisse werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt, wenn vorgesehen ist, dass die Ansteuerung durch Schaltungseinrichtungen erfolgt, die zumindest einen analogen Verstärker umfassen. Durch analoge Schaltungseinrichtungen, insbesondere durch analoge Verstärker, lassen sich stetige Piezostromverläufe erzielen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann jedoch ebenfalls vorgesehen sein, dass die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert erfolgt, insbesondere transformatorgestützt. Eine derartige Ansteuerung, die auch als CC-Ansteuerung (CC = Current Control / Stromsteuerung) bezeichnet wird, kann insbesondere dazu führen, dass sowohl der erste Stromimpuls als auch der zweiten Stromimpuls (und gegebenenfalls ein zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls aufrechterhaltenes Teilstromniveau) jeweils durch eine Mehrzahl von unmittelbar aufeinander folgenden Stromimpulsen gebildet wird. Der Einsatz einer CC-Endstufe ist insbesondere hinsichtlich der Kosten vorteilhaft.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung baut auf dem gattungsgemäßen Stand der Technik dadurch auf, dass sie zur Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls erzeugt. Dadurch ergeben sich die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erläuterten Vorteile in gleicher oder ähnlicher Weise, weshalb zur Vermeidung von Wiederholungen auf die entsprechenden Ausführungen verwiesen wird.

Gleiches gilt sinngemäß für die folgenden bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung, wobei auch diesbezüglich auf die entsprechenden Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen wird.

Bei einigen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann vorgesehen sein, dass sie zwischen dem ersten

Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau aufrechterhält.

Weiterhin kann bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen sein, dass sie zumindest einen analogen Verstärker aufweist.

Ähnlich wie bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann auch bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen sein, dass sie die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert durchführt, insbesondere transformatorgestützt.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass über die elektrische Ansteuerung des Piezo-Aktuators die Bewegung der gekoppelten Ventilmechanik modelliert werden kann. Beispielsweise kann dabei elektrisch auf den Ventilnadelverlauf eingewirkt werden, insbesondere zur Auslenkung und zum Sitzkraftaufbau.

Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Ausführungsform einer Pumpe-Düse-Einheit bei beziehungsweise mit der das erfindungsgemäße Verfahren beziehungsweise die erfindungsgemäße Vorrichtung angewendet werden können;

Figur 2a eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils, das in Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann;

Figur 2b eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils, das entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und ebenfalls mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann;

Figur 3 ein Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß dem Stand der Technik, bei analoger Ansteuerung;

Figur 4 ein zweites Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß dem Stand der Technik, bei CC-Ansteuerung;

Figur 5 ein Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß der vorliegenden Erfindung, bei analoger Ansteuerung;

Figur 6 ein zweites Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms zum Schließen des Piezo-Steuerventils gemäß der vorliegenden Erfindung, bei CC-Ansteuerung;

Figur 7 einen Graph, der den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms, der Piezo-Spannung, des Ventilnadelhubs, des Hochdruckraumdrucks und des Drucks im Auslassbereich der Pumpe-Düse-Einheit für eine Ansteuerung gemäß dem Stand der Technik und zwei erfindungsgemäße Ansteuerungsvarianten veranschaulicht;

Figur 8 einen zeitlichen Ausschnitt der Kurvenverläufe von Figur 7; und

Figur 9 einen Graph, der den Verlauf der Piezospannung, des Ventilnadelhubs und des Absteuerraumdrucks bei einem ungewollten Öffnen des Piezo-Steuerventils beziehungsweise der Ventilnadel veranschaulicht, wobei ein derartiges ungewolltes Öffnen des Piezo-Steuerventils durch die Erfindung vermieden oder zumindest verringert werden kann.

Figur 1 zeigt schematisch eine Pumpe-Düse-Einheit. Die dargestellte Pumpe-Düse-Einheit zum Zuführen von Kraftstoff 10 in einen Verbrennungsraum 12 einer Brennkraftmaschine weist eine Kraftstoffpumpe 14-22 auf. Dabei ist ein Kraftstoffpumpenkolben 14 in einem Kraftstoffpumpenzylinder 16 hin und her bewegbar. Der Kraftstoffpumpenkolben 14 wird direkt oder indirekt über eine nicht dargestellte Nockenwelle der Brennkraftmaschine angetrieben. Der Kompressionsraum des Kraftstoffpumpenzylinders 16 bildet einen ersten Druckraum 28. Der erste Druckraum 28 ist über eine Kraftstoffleitung 20 mit einem Piezo-Steuerventil 22 verbunden. Das Piezo-Steuerventil 22 dient dazu, die Kraftstoffleitung 20 entweder zu verschließen oder mit einem Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 zu verbinden, aus dem Kraftstoff 10 angesaugt werden kann. In der geöffneten Ruhestellung des Piezo-Steuerventils 22 wird bei einer bezogen auf Figur 1 nach oben gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 Kraftstoff 10 aus dem Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 in den ersten Druckraum 28 angesaugt. Sofern das Piezo-Steuerventil 22 sich bei einer bezogen auf Figur 1 nach unten gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 noch in seiner geöffneten Ruhestellung befindet, kann vorher in den ersten Druckraum 28 angesaugter Kraftstoff 10 wieder zurück in den Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 gedrückt werden. Bei einer geeigneten Ansteuerung des Piezo-Steuerventils 22 verschließt dieses die Kraftstoffleitung 20. Dadurch wird der in den ersten Druckraum 28 angesaugte Kraftstoff 10 bei einer nach unten gerichteten Bewegung des Kraftstoffpumpenkolbens 14 komprimiert, wodurch ein erster Druck p_{28} in dem ersten Druckraum 28 erzeugt wird. Die dargestellte

Pumpe-Düse-Einheit umfasst weiterhin eine insgesamt mit 24 bezeichnete Kraftstoffeinspritzdüse, die eine zwischen einer Schließstellung und einer Öffnungsstellung hin und her bewegliche Düsennadel 46 aufweist. Ein Druckstift 26 kann, bezogen auf die Darstellung von Figur 1, insbesondere eine nach unten gerichtete Kraft auf die Düsennadel 46 ausüben. Am oberen Ende des Druckstifts 26 ist eine Einstellscheibe 40 vorgesehen, die in einem zweiten Druckraum 30 geführt ist, wobei in dem zweiten Druckraum 30 unter einem zweiten Druck p_{30} stehender Kraftstoff 10 über den Druckstift 26 eine bezogen auf die Darstellung von Figur 1 nach unten gerichtete Schließkraft auf die Düsennadel 46 ausübt. Die Einstellscheibe 40 ist dabei vorzugsweise gegenüber dem zweiten Druckraum 30 nur so stark abgedichtet, dass der zweite Druck p_{30} vor Beginn eines neuen Einspritzzyklus bereits wieder abgebaut ist. Eine ebenfalls nach unten gerichtete weitere Schließkraft wird durch eine erste Feder 36 auf den Druckstift 26 und somit die Düsennadel 46 ausgeübt, wobei die erste Feder 36 in dem zweiten Druckraum 30 angeordnet ist und sich mit ihrem hinteren Ende an der Einstellscheibe 40 abstützt. Ein eine Schulter 44 aufweisender Abschnitt der Düsennadel 46 ist von einem dritten Druckraum 32 umgeben, der mit dem ersten Druckraum 28 über eine Verbindungsleitung 42 kommuniziert. In Abhängigkeit von der Drosselwirkung der Verbindungsleitung 42 und gegebenenfalls weiterer nicht dargestellter Drosseleinrichtungen wird in Abhängigkeit von dem in dem ersten Druckraum 28 herrschenden ersten Druck p_{28} in dem dritten Druckraum 32 ein dritter Druck p_{32} aufgebaut. Der in dem dritten Druckraum 32 unter dem dritten Druck p_{32} stehende Kraftstoff 10 übt eine bezogen auf die Darstellung von Figur 1 nach oben gerichtete Öffnungskraft auf die Düsennadel 46 aus. Die Düsennadel 46 nimmt ihre Öffnungsstellung ein, solange eine Differenz zwischen der durch den dritten Druck p_{32} verursachten Öffnungskraft und der Summe aus der durch den zweiten Druck p_{30} erzeugten Schließkraft und der durch die erste Feder 36 erzeugten Schließkraft einen vorgegebenen Wert überschreitet. Über den zweiten Druck p_{30} in dem zweiten Druckraum 30 kann somit der

Düsenöffnungsdruck beeinflusst werden. Um den zweiten Druck p_{30} im zweiten Druckraum 30 auf jeweils geeignet Werte zu begrenzen und zu halten kann beispielsweise ein Druckbegrenzungs- und -halteventil 34 zwischen dem ersten Druckraum 28 und dem zweiten Druckraum 30 vorgesehen sein. Die Ankopplung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 80 an das anhand von den Figuren 2a und 2b näher erläuterte Piezo-Steuerventil 22 ist in Figur 1 ebenfalls dargestellt.

Figur 2a zeigt eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils 22, das in Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann. Das dargestellte Piezo-Steuerventil 22 weist eine Ventilnadel 48 auf, die zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 in die dargestellte erste Endstellung und zum vollständigen Öffnen des Piezo-Steuerventils 22 in eine zweite Endstellung bewegt werden kann, die bezogen auf die Darstellung nach rechts verschoben ist. Wenn sich die Ventilnadel 48 in ihrer dargestellten ersten Endstellung befindet, wirkt ein an der Ventilnadel 48 vorgesehener Ventilteller 64 mit einem gehäuseseitigen Ventilsitz 62 zusammen. Dadurch wird der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 gegenüber einer Hochdruckkammer 38 verschlossen, die mit der in Figur 1 dargestellten Kraftstoffleitung 20 in Verbindung steht. Das Piezo-Steuerventil 22 weist einen Piezo-Aktuator beziehungsweise ein Piezoelement 76 auf. Bei geeigneter Ansteuerung des Piezoelementes 76 übt dieses über eine Stirnfläche 78 eine Kraft auf ein Druckstück 54 aus. Das Druckstück 54 überträgt die von dem Piezoelement 76 erzeugte Kraft seinerseits auf einen ersten Hebel 56 und einen zweiten Hebel 58, wobei der erste Hebel 56 und der zweite Hebel 58 dazu vorgesehen sind, eine Kraftübersetzung zu bewirken. Der erste Hebel 56 und der zweite Hebel 58 liegen an einer zweiten axialen Endfläche 72 der Ventilnadel 48 an, um die von dem Piezoelement 76 erzeugte, übersetzte Kraft auf die Ventilnadel 48 zu übertragen. Die von dem geeignet angesteuerten Piezoelement 76 erzeugte, übersetzte Kraft, die

auf die Ventilnadel 48 wirkt, ist größer als eine entgegengesetzte Kraft, die von einer zweiten Feder 66 erzeugt und über ein Federdruckstück 68 auf eine erste axiale Endfläche 70 der Ventilnadel 48 ausgeübt wird. Der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 steht mit einem Absteuerraum 50 in Verbindung, der über eine Ausgleichsbohrung 52 weiterhin mit einem vor dem Piezoelement 76 befindlichen Aktorraum 74 in Verbindung steht. Dieser Aktorraum 74 steht mit einem Rücklauf 60 in Verbindung, über den Kraftstoff aus dem Aktorraum 74 zurückströmen kann.

Figur 2b zeigt eine schematische Teil-Schnittansicht eines Piezo-Steuerventils 22, das entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt und ebenfalls mit der Pumpe-Düse-Einheit nach Figur 1 verwendet werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steuerventil 22 entgegengesetzt zur Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich zum Niederdruckbereich schließt, gewährleistet dieses Piezo-Steuerventil 22 eine höhere Sicherheit gegen ein mögliches Verklemmen. Auch das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steuerventil 22 weist eine Ventilnadel 48 auf, die zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 in die dargestellte erste Endstellung und zum vollständigen Öffnen des Piezo-Steuerventils 22 in eine zweite Endstellung bewegt werden kann, die bezogen auf die Darstellung von Figur 2b nach rechts verschoben ist. Wenn sich die Ventilnadel 48 in ihrer dargestellten ersten Endstellung befindet, wirkt wieder ein an der Ventilnadel 48 vorgesehener Ventilteller 64 mit einem gehäuseseitigen Ventilsitz 62 zusammen. Dadurch wird der Kraftstoff-Niederdruckbereich 18 beziehungsweise der Absteuerraum 50 gegenüber einer Hochdruckkammer 38 verschlossen, die mit der in Figur 1 dargestellten Kraftstoffleitung 20 in Verbindung steht. Das Piezo-Steuerventil 22 weist wieder einen Piezo-Aktuator beziehungsweise ein Piezoelement 76 auf, das über eine Stirnfläche 78 und ein Druckstück 54 eine Kraft auf eine zweite axiale Endfläche 72 der Ventilnadel 48 ausübt. Die von dem geeignet angesteuerten Piezoelement 76

erzeugte, übersetzte Kraft, die auf die Ventilnadel 48 wirkt, ist größer als eine entgegengesetzte Kraft, die auch bei dieser Ausführungsform von einer zweiten Feder 66 erzeugt und auf eine erste axiale Endfläche 70 der Ventilnadel 48 ausgeübt wird. Da das in Figur 2b dargestellte Piezo-Steuerventil 22 im Gegensatz zu dem in Figur 2a dargestellten Piezo-Steuerventil 22 in Strömungsrichtung vom Hochdruckbereich 38 zum Niederdruckbereich 18 beziehungsweise zum Absteuerraum 50 öffnet, übt ein in der Hochdruckkammer 38 vorhandener hoher Druck eine Öffnungskraft auf die Ventilnadel 48 aus, so dass ein unerwünschtes Verklemmen dieser Ventilnadel 48 besonders sicher vermieden werden kann.

Figur 3 zeigt ein Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms i(t) zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 gemäß dem Stand der Technik, bei analoger Ansteuerung, und Figur 4 zeigt ein zweites Beispiel für den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms i(t) zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 gemäß dem Stand der Technik, bei CC-Ansteuerung. Wenn das Piezoelement beziehungsweise der Piezo-Aktuator 76 von den Figuren 2a und 2b zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 mit einem der in den Figuren 3 oder 4 dargestellten Piezo-Ansteuerstromprofilen angesteuert wird, kann es beim Auftreffen der Ventilnadel 48 auf den Ventilsitz 62 zu dem eingangs erläuterten Preller und den damit verbunden Problemen kommen.

Figur 5 zeigt eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung des Piezo-Aktuators 76 zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22. Der in Figur 5 dargestellte Stromverlauf i(t) weist einen ersten Stromimpuls I_1 und einen von diesem zeitlich beabstandeten nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2 auf. Zwischen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten Stromimpuls I_2 wird ein Teilstromniveau I_T aufrechtgehalten. Der in Figur 5 dargestellte stetige Kurvenverlauf kann insbesondere durch eine analoge Ansteuerung verwirklicht werden. Durch den ersten Stromimpuls I_1, den zweiten Stromimpuls I_2 und das Teilstromniveau I_T wird der Aufladevorgang des Piezo-

Aktuators somit in Ladungspakete unterteilt, die unterschiedliche Ladungsinhalte aufweisen.

Figur 6 zeigt eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung des Piezo-Aktuators 76 zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22. Auch der in Figur 6 dargestellte Stromverlauf i(t) weist einen ersten Stromimpuls I_1 und einen diesem zeitlich beabstandet nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2 auf. Bei der in Figur 6 dargestellten Ausführungsform wird zwischen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten Stromimpuls I_2 kein Teilstromniveau aufrechterhalten. Weiterhin sind der erste Stromimpuls I_1 und der zweite Stromimpuls I_2 jeweils durch eine Mehrzahl von unmittelbar aufeinanderfolgenden kurzen Stromimpulsen zusammengesetzt, wie dies insbesondere bei einer CC-Ansteuerung der Fall ist.

Wenn der Piezo-Aktuator 76 zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 entsprechend dem Kurvenverlauf von Figur 5 oder 6 angesteuert wird, kann ein Preller beim Auftreffen der Ventilnadel 48 auf den Ventilsitz 62 vermieden oder zumindest verringert werden.

Figur 7 zeigt einen Graph, der den Verlauf des Piezo-Ansteuerstroms i(t), der Piezo-Spannung u(t), des Ventilnadelhubs h(t), des Hochdruckraumdrucks $t_{38}(t)$ und des Drucks im Auslassbereich der Pumpe-Düse-Einheit für eine Ansteuerung gemäß dem Stand der Technik und zwei erfindungsgemäße Ansteuerungsvarianten veranschaulicht, wobei Figur 8 einen zeitlichen Ausschnitt der Kurvenverläufe von Figur 7 zeigt. In den Figuren 7 und 8 sind die Kurven, die sich bei einer dem Stand der Technik entsprechenden Ansteuerung ergeben, jeweils mit a bezeichnet, wobei der Piezo-Ansteuerstrom i(t) in diesem Fall invertiert dargestellt ist. Die Kurven, die sich für eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung ergeben, sind mit b bezeichnet, während die Kurven, die sich für eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Ansteuerung ergeben, mit c bezeichnet sind. Wie dies insbesondere Figur 8

zu entnehmen ist, weist die Kurve b des Piezo-Ansteuerstroms i(t) ein etwas höheres Teilstromniveau I_T auf als die Kurve c. Durch den ersten Stromimpuls I_1 wird das System zu Beginn stark beschleunigt. Im mittleren Bereich, zu dem das Teilstromniveau I_T aufrechterhalten wird, ist keine weitere Energie erforderlich. Um eine hohe Schließkraft zu erzeugen, wird die Energie zum Ende hin durch den zweiten Stromimpuls I_2 wieder erhöht (siehe Bereich A von Figur 7). Durch eine Ansteuerung entsprechend den Kurvenverläufen b oder c ergeben sich geringere Druckimpulse (siehe Bereich B von Figur 7). Im weiteren Verlauf wird die Kavitationszeit verringert beziehungsweise eine starke Re-Kompression sowie ein damit verbundenes Wiederöffnen des Piezo-Steuerventils wird sogar vermieden (siehe Bereich C von Figur 7).

Dem in Figur 8 dargestellten Verlauf des Ventilnadelhubs h(t) ist besonders deutlich zu entnehmen, dass ein Preller durch ein sanftes Schließen der Ventilnadel 48 deutlich verringert wird, wodurch der Druckabfall des Hochdruckkammerdrucks $p_{38}(t)$ verringert wird (siehe Bereich D von Figur 8). Zum Zeitpunkt des Schließens (bei 0 µs) ist noch ein Überschuss an Strom i(t) und Spannung u(t) vorhanden, so dass eine größere Kraft zum Dichten der Ventilnadel 48 bereitsteht (siehe Bereich E von Figur 8).

Figur 9 zeigt einen Graph, der den Verlauf der Piezospannung u(t), des Ventilnadelhubs h(t) und des Absteuerraumdrucks $p_{50}(t)$ bei einem ungewollten Öffnen des Piezo-Steuerventils 22 beziehungsweise der Ventilnadel 48 veranschaulicht. Diese Probleme können durch die erfindungsgemäße Ansteuerung vermieden oder zumindest verringert werden.

Die Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen: Zum Schließen des Piezo-Steuerventils 22 einer Pumpe-Düse-Einheit wird der Piezo-Aktuator 76 anstelle eines Einpulsstrompaketes mit zumindest einem ersten Stromimpuls I_1 und einem diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls I_2

angesteuert. Dadurch kann ein Preller beim Auftreffen der Ventilnadel 48 auf den Ventilsitz 62 vermieden oder zumindest verringert werden. Gegebenenfalls wird zwischen dem ersten Stromimpuls I_1 und dem zweiten Stromimpuls I_2 ein Teilstromniveau I_T aufrechterhalten.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators (76) beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils (22) einer Pumpe-Düse-Einheit,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls (I_1) und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls (I_2) umfasst.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zwischen dem ersten Stromimpuls (I_1) und dem zweiten Stromimpuls (I_2) ein Teilstromniveau (I_T) aufrechterhalten wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Ansteuerung durch Schaltungseinrichtungen erfolgt, die zumindest einen analogen Verstärker umfassen.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert erfolgt, insbesondere transformatorgestützt.

5. Vorrichtung zur Ansteuerung des Piezo-Aktuators (76) beim Schließvorgang eines Piezo-Steuerventils (22) einer Pumpe-Düse-Einheit,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass sie zur Ansteuerung zumindest einen ersten Stromimpuls (I_1) und einen diesem mit zeitlichem Abstand nachfolgenden zweiten Stromimpuls (I_2) erzeugt.

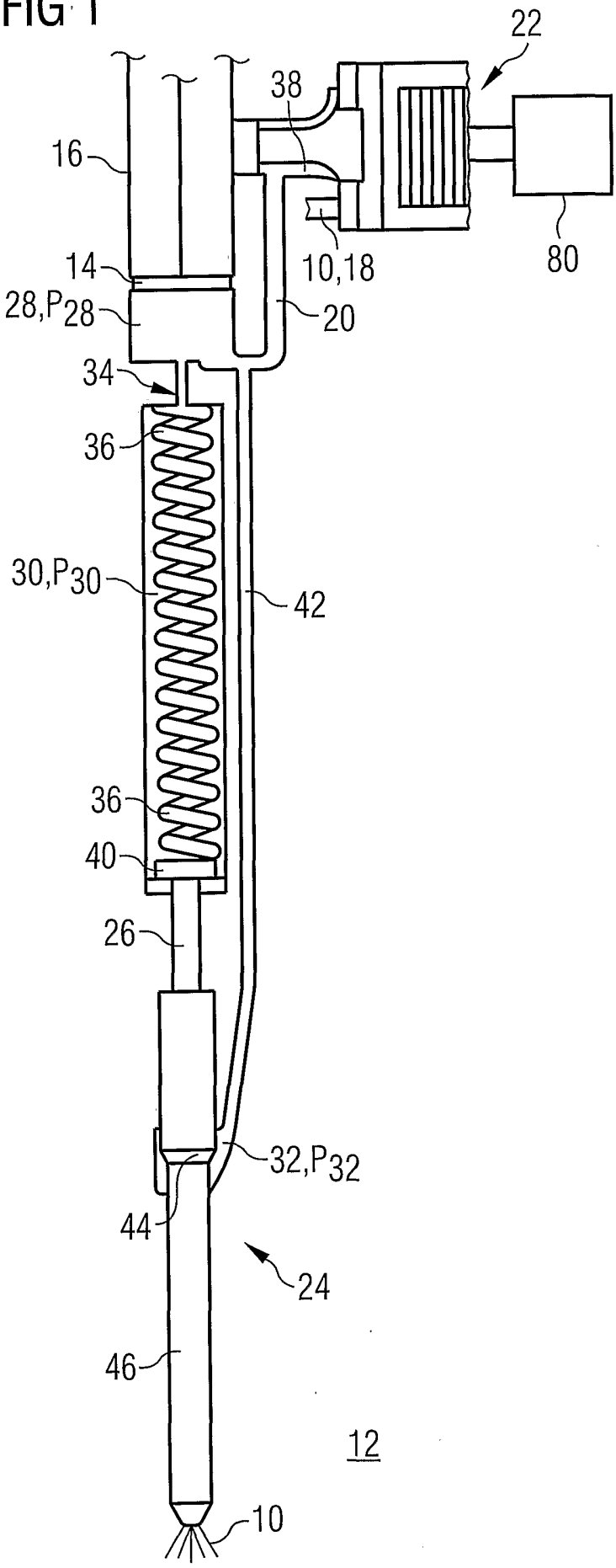
6. Vorrichtung nach Anspruch 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass sie zwischen dem ersten Stromimpuls und dem zweiten Stromimpuls ein Teilstromniveau (I_T) aufrechterhält.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass sie zumindest einen analogen Verstärker aufweist.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass sie die Ansteuerung stromgeregelt und/oder -gesteuert durchführt, insbesondere transformatorgestützt.

FIG 1


22
38
16
14
10,18
80
28,P28
20
34
36
30,P30
42
36
40
26
32,P32
44
24
46
12
10

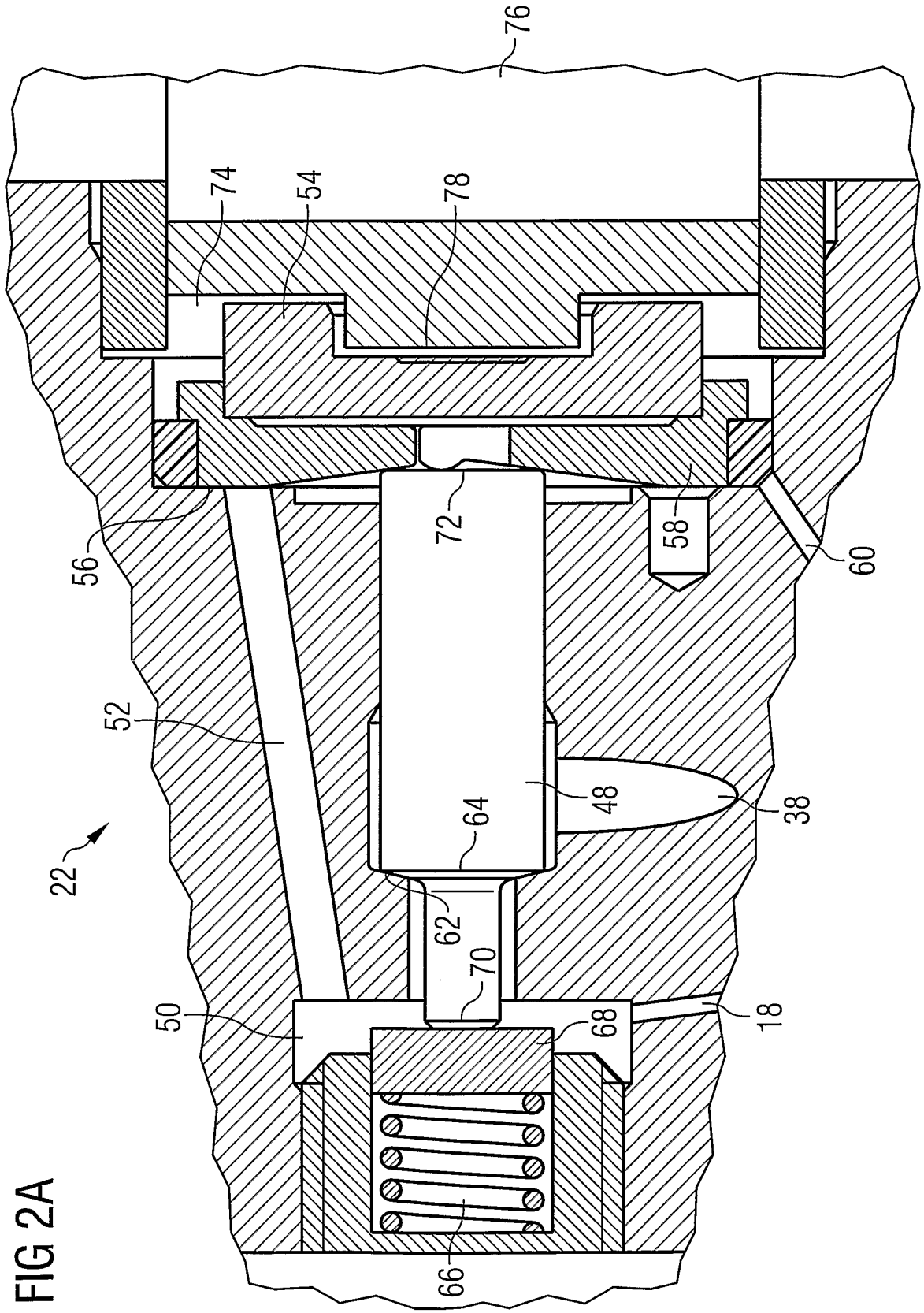


FIG 2A

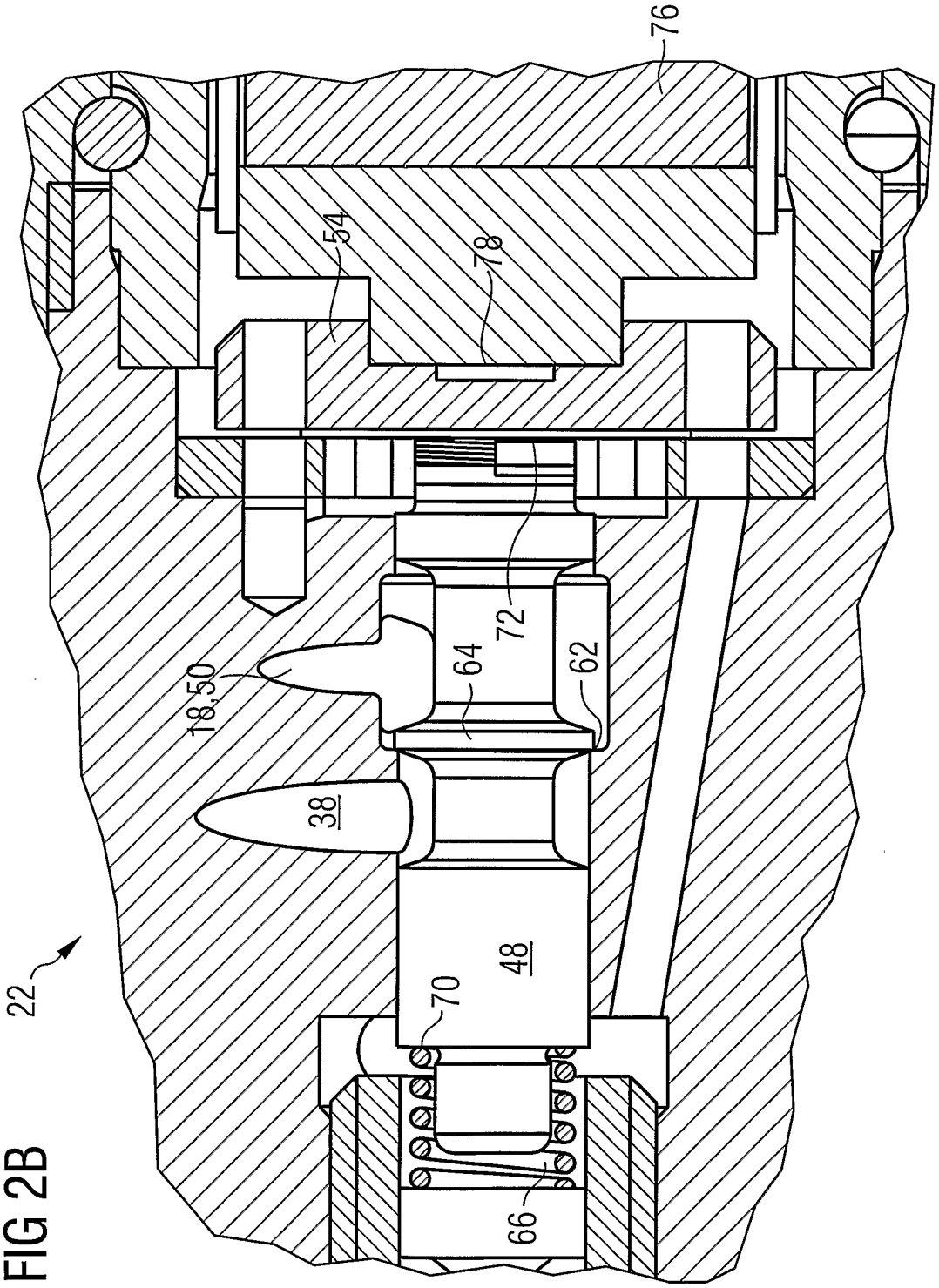


FIG 2B

FIG 3
Stand der Technik

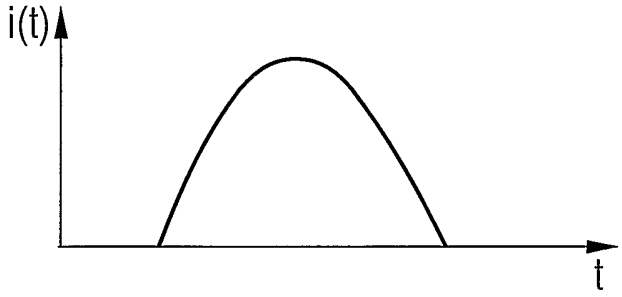


FIG 4
Stand der Technik

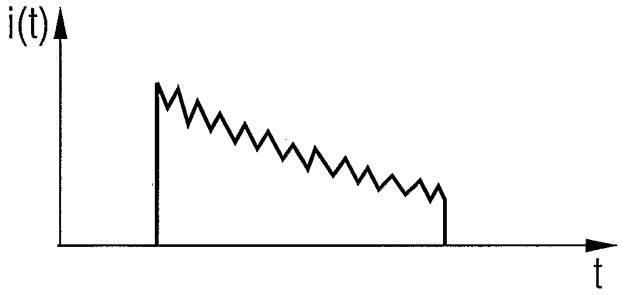


FIG 5

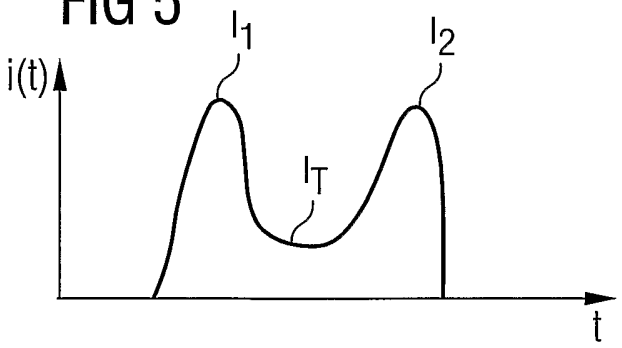


FIG 6

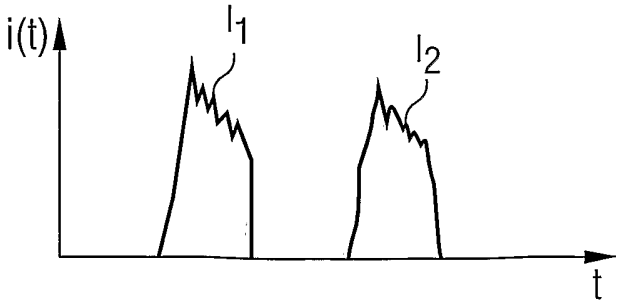


FIG 7

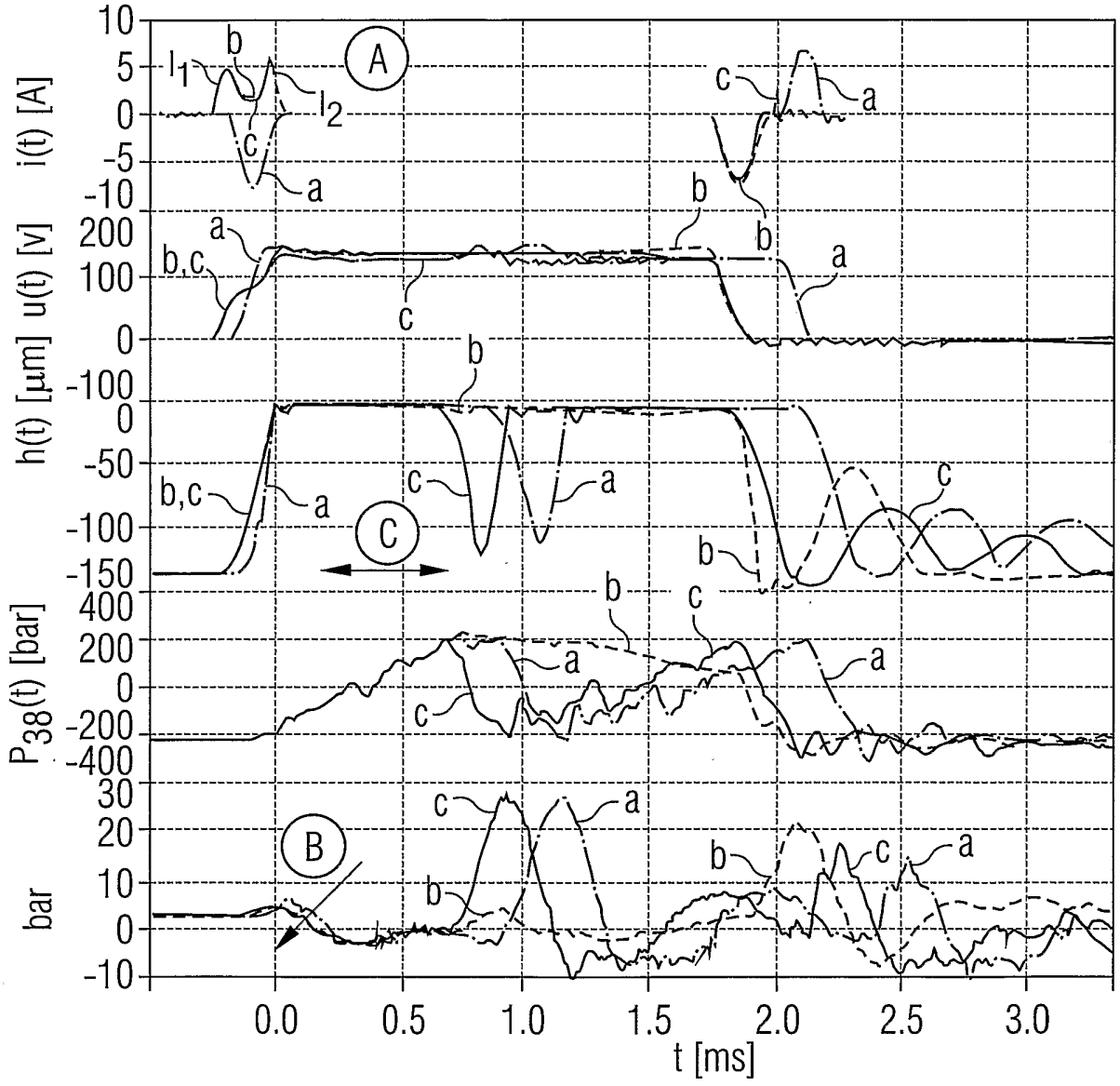


FIG 8

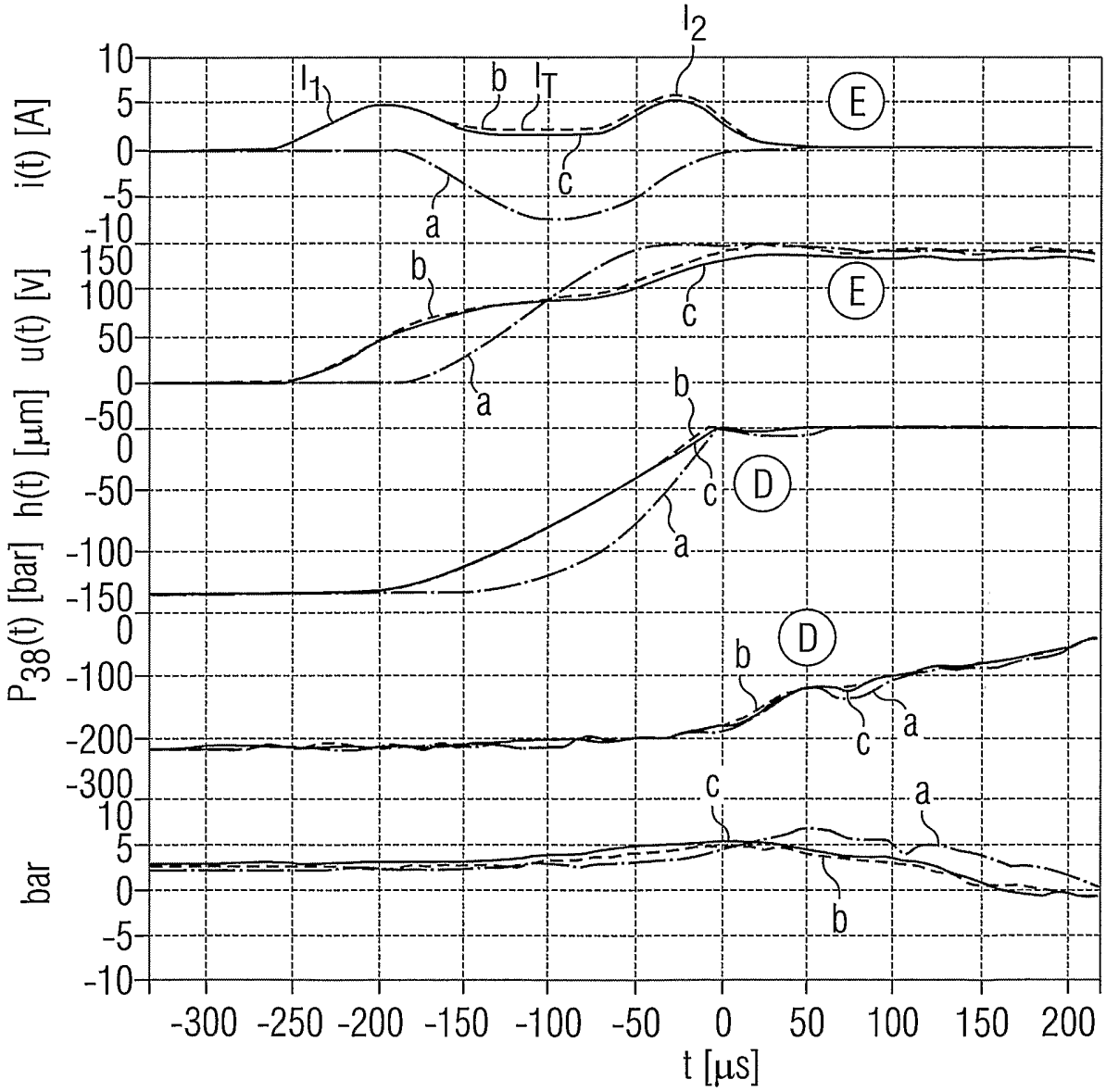
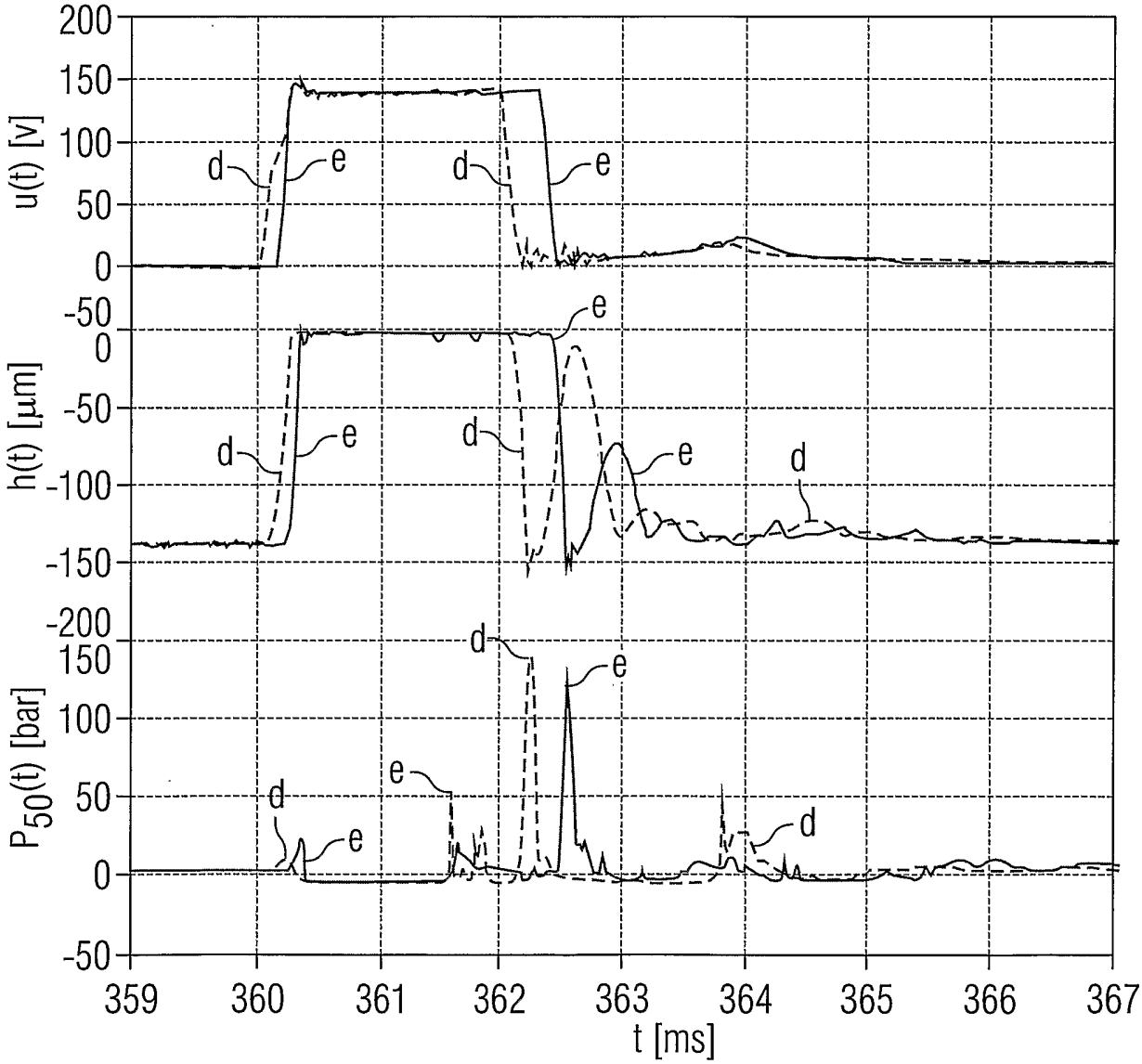

I2
I1
b
IT
E
c
a
i(t) [A]
u(t) [V]
h(t) [µm]
P38(t) [bar]
D
bar
10
5
0
-5
-10
150
100
50
-50
-100
-150
-200
-300
-250
-200
-150
-100
-50
50
100
150
200
t [µs]

FIG 9
Stand der Technik



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat pplication No
PCT/DE 03/00956

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/20 H01L41/04 F02M57/02 F02M59/36

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F02D H01L F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 5 057 734 A (TAKAHASHI TAKESHI ET AL) 15 October 1991 (1991-10-15) column 11, line 36 -column 14, line 53; figures 1,11-16	1-3,5-7 4,8
Y	DE 199 21 456 A (BOSCH GMBH ROBERT) 16 November 2000 (2000-11-16) column 3, line 28 - line 63; figures	4,8

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 July 2003	05/08/2003

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Torle, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

ıtion on patent family members

Internal Application No
PCT/DE 03/00956

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5057734 A	15-10-1991	JP 2185649 A	20-07-1990
		JP 2513011 B2	03-07-1996
		DE 68921047 D1	23-03-1995
		DE 68921047 T2	14-06-1995
		EP 0371469 A2	06-06-1990
DE 19921456 A	16-11-2000	DE 19921456 A1	16-11-2000
		CN 1349590 T	15-05-2002
		WO 0068558 A1	16-11-2000
		EP 1179129 A1	13-02-2002
		JP 2002544424 T	24-12-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internati ; Aktenzeichen
PCT/DE 03/00956

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D41/20 H01L41/04 F02M57/02 F02M59/36

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D H01L F02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y	US 5 057 734 A (TAKAHASHI TAKESHI ET AL) 15. Oktober 1991 (1991-10-15) Spalte 11, Zeile 36 -Spalte 14, Zeile 53; Abbildungen 1,11-16	1-3,5-7 4,8
Y	DE 199 21 456 A (BOSCH GMBH ROBERT) 16. November 2000 (2000-11-16) Spalte 3, Zeile 28 - Zeile 63; Abbildungen	4,8

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
25. Juli 2003	05/08/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Torle, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen zur selben Patentfamilie gehören

Internati Aktenzeichen
PCT/DE 03/00956

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5057734 A	15-10-1991	JP 2185649 A	20-07-1990
		JP 2513011 B2	03-07-1996
		DE 68921047 D1	23-03-1995
		DE 68921047 T2	14-06-1995
		EP 0371469 A2	06-06-1990
DE 19921456 A	16-11-2000	DE 19921456 A1	16-11-2000
		CN 1349590 T	15-05-2002
		WO 0068558 A1	16-11-2000
		EP 1179129 A1	13-02-2002
		JP 2002544424 T	24-12-2002